



## ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.4

**Бачишин Б. Д., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)  
E-mail: bachyshyn@ukr.net

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДКРАНОВИХ КОЛІЙ БЕЗВІДБИВНИМ ЕЛЕКТРОННИМ ТАХЕОМЕТРОМ

**Розглянуто методику геодезичного контролю підкранових колій за допомогою безвідбивного тахеометра. Приведені статистичні дані апробації цієї методики на реальному об'єкті для двох режимів вимірювання тахеометром: на відбивач та без відбивача. Показано економічну ефективність застосування безвідбивних геодезичних технологій при контролі підкранових колій. Сформульовані рекомендації для застосування цієї методики.**

**Ключові слова:** геодезичний контроль, параметри підкранових колій, безвідбивний тахеометр.

**Вступ.** Безпечне та ефективне функціонування підкранових колій потребує періодичної перевірки параметрів цих колій. Важливим моментом такого контролю є якомога вища швидкість його виконання, бо геодезичний контроль вимагає зупинки крану, а це додаткові економічні втрати. Попри високу оперативність виконання контролю основне завдання – це забезпечення необхідної точності виконання робіт.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Сучасні електронні тахеометри суттєво змінили методику виконання геодезичного контролю підкранових колій [1; 2]. Застосування цих приладів дозволило значно скоротити польові роботи з перевірки параметрів, а отже, – зменшити затрати на сам геодезичний контроль та зменшити економічні втрати замовника через скорочення терміну простою крану. В [1] обґрунтовано точність геодезичних вимірювань на основі технологічних допусків геометричних параметрів. Розраховані максимально допустимі віддалі від приладу до точки колії для різних значень середніх квадратичних похибок вимірювання кутів та віддалей тахеометром. Ці віддалі гарантують необхідну точність визначення параметрів колії. Визначено допустиму похибку при розміщенні пікетажу на колії. У випадку, коли реальні віддалі перевищують допустимі, то автори рекомендують розбивати колію на ділянки, знімання яких можна виконувати з однієї станції. В [2] приведено результати екс-

периментальних досліджень за вдосконаленою методикою колій на Рівненській АЕС. Вимірювання виконувалися на відбивач.

**Постановка завдання.** Аналізуючи досвід таких робіт, спробуємо теоретично обґрунтувати можливість використання безвідбивних тахеометрів для визначення геометричних параметрів підкранових колій та порівняти результати експериментальних досліджень при роботі тахеометра в двох режимах: з відбивачем та без відбивача.

**Основна частина.** При контролі геометричних параметрів підкранових колій за допомогою електронних тахеометрів всі параметри визначаються як функції просторових координат пікетів колії. Ці координати визначаються тахеометром.

Перелік параметрів, які необхідно контролювати, визначаються Правилами [3]:

- P1 – різниця позначок головок рейок в одному поперечному перерізі;
- P6 – відхилення рейки від горизонтальності (різниця висотних позначок головок рейок) на довжині 10 м рейкової колії;
- P3 – звуження або розширення рейкової колії (відхилення величини прогону у плані);
- відхилення рейки від прямолінійності на ділянці 10 м.

Перші два параметри (P1 і P6) визначаються як різниця висот відповідних точок, обчислених із тригонометричного нівелювання. У випадку, коли висоти цих точок виміряні із однієї станції, то точність таких параметрів не залежатиме від точності визначення висоти станції, висоти приладу на станції та висоти відбивача на точці. Тому середні квадратичні похибки визначення параметрів P1 та P6 відповідно  $m_{P1}$  та  $m_{P6}$  запишуться як

$$m_{P1}^2 = m_{P6}^2 = m_{h_1}^2 + m_{h_2}^2, \quad (1)$$

де  $m_{h_1}$  та  $m_{h_2}$  – середні квадратичні похибки визначення перевищення сусідніх точок рейки (чи точок рейок в одному поперечному перерізі для параметру P1) над станцією.

Оскільки ці точки розташовані близько одна до одної, то точність визначення перевищення на них із тригонометричного нівелювання є фактично однаковою, а тому

$$m_{P1} = m_{P3} = \sqrt{2(m_S^2 \cdot \sin^2 \nu + S^2 \cdot \cos^2 \nu \cdot \frac{m_\nu^2}{\rho^2})}, \quad (2)$$

де  $S$  – похила віддаль від тахеометра до точки рейки,  $\nu$  – вертика-

льний кут на точку рейки, виміряний тахеометром,  $m_S$ ,  $m_V$  – середні квадратичні похибки вимірювання похилої віддалі та вертикального кута електронним тахеометром;  $\rho$  – число секунд в 1 радіані.

Ширину колії (прогону) вираховують за формулою

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}, \quad (3)$$

де  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  – координати точок двох рейок в одному поперечному перерізі, які визначаються полярним способом. Якщо допустити, що точність визначення координат однакова, то можна записати для середньої квадратичної похибки прогону

$$m_D = \sqrt{m_S^2 + S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}, \quad (4)$$

де  $m_\beta$  – середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута електронним тахеометром.

Параметр РЗ – це звуження чи розширення рейкової колії. В [3] не уточнюється на якій ділянці він контролюється. Якщо він контролюється на всій робочій довжині колії, а звуження чи відхилення вираховують від номінального значення прогону, яке відомо точно, то

$$m_{P3} = m_D. \quad (5)$$

Для середньої квадратичної похибки відхилення рейки від прямолінійності  $m_{\Delta f}$  скористаємося формулою (1) з [1], за якою

$m_{\Delta f} = m_k \cdot \sqrt{1,5}$ ,  $m_k$  – середня квадратична похибка визначення планових координат. Оскільки планові координати визначаються полярним способом, то запишемо:

$$m_{\Delta f} = \sqrt{\frac{1,5}{2} \left( m_s^2 + S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \right)}. \quad (6)$$

За формулами (2), (4) і (6) можна розрахувати очікувані значення середніх квадратичних похибок визначення параметрів підкранових колій для конкретного тахеометра та конкретних умов вимірювання. Для того, щоб вирішити, чи задовільною є розрахована точність потрібно порівняти отримані значення із граничними. Автори [1] в якості граничного значення використовують  $m_{GP} = 0,2\Delta$ , (де  $\Delta$  – допуск на відповідний геометричний параметр колії), яке вони використали з [4].

Тут пропоную такий підхід для обчислення  $m_{ГР}$ . Середнє квадратичне відхилення параметру  $\delta = \Delta/2$ . А до точності геодезичних робіт  $\delta_{Г}$  для визначення параметра, який розглядаємо як складову загального середнього квадратичного відхилення, поставимо вимогу мізерного впливу

$$\delta_{Г} = \frac{\Delta}{2\sqrt{10}}. \quad (7)$$

Формула (7) дає значення  $\delta_{Г} = 0.16\Delta$ , яке на 20% підвищує вимоги у порівнянні з  $m_{ГР} = 0,2\Delta$ .

Дослідження виконувалися на підкрановому шляху баштового крана БКСМ-14МП2. Довжина робочої ділянки 46 м, ширина колії – 6 м. За теоретичне значення параметрів прийнято параметри, які визначалися: геометричним нівелюванням 2 класу (для параметрів Р1, Р6), боковим нівелюванням по лінійці (рейці) з міліметровими поділками (для параметру  $\Delta f$ ) та промірами стальною геодезичною рулеткою з міліметровими поділками з контролем сили натягування динамометром (для параметру Р3). Вимірювання проводились електронним тахеометром Leica TCR 405 ultra. Схема вимірювань показана на рисунку. При роботі тахеометра в режимах на відбивач вимірювання виконані з однієї станції (середньої), а в режимі без відбивача – з трьох станцій. Найкращий варіант безвідбивних спостережень, коли тахеометр встановлюється посередині збоку від колії на відстані зручній для спостережень (в цьому випадку 25–30 метрів). Тоді маркувати пікети потрібно із зовнішньої сторони ближньої рейки від тахеометра, а для дальньої – з внутрішньої. Але на цьому об'єкті з обох боків колії знаходилися колоди, які унеможливили цей найбільш ефективний варіант.

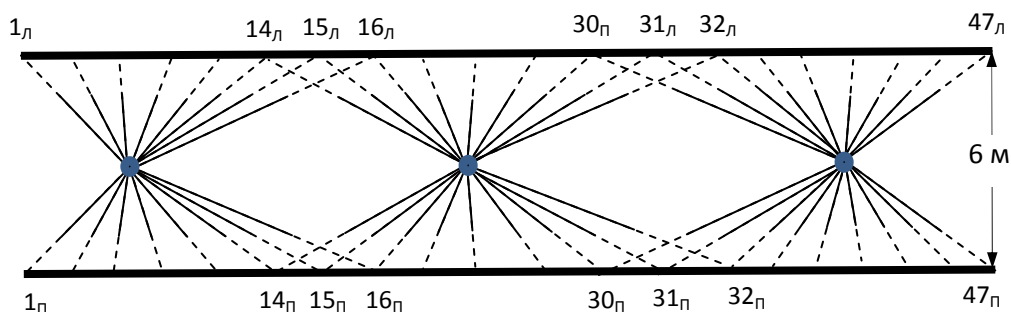


Рисунок. Схема геодезичних вимірювань при контролі геометричних параметрів колії. 1<sub>Л</sub>, ..., 47<sub>П</sub> – нумерація пікетів відповідно на лівій та правій рейках

Для забезпечення надійності вибірки результатів експериментальних досліджень пікети розмічені на рейках через 1 м. Кожен пікет був відмічений кругом, діаметром 5 мм, який нанесли на внутрішню бокову сторону рейок за допомогою трафарету, який забезпечував однакове розміщення пікетів по висоті відносно головки рейки. Місце, де мав розміщатися пікет, попередньо очистили від іржі. Круг наносився білою фарбою для збільшення потужності відбитого сигналу. При вимірюваннях тахеометром в інфрачервоному точному режимі відбивач встановлювався посередині головки рейок за допомогою пристрою, схожого на той, що описано в [2]. Координати станцій можна обирати довільно. Наближено можна виконувати і орієнтування тахеометра на станціях, якщо визначаються лише параметри підкранових колій без спостереження за осіданнями об'єктів. Саме цей випадок був реалізований нами. Систему координат на станціях було обрано так, щоб вісь  $X$  приблизно була направлена вздовж колії, хоча це не є обов'язковою вимогою. Зв'язок між станціями було реалізовано через спостереження 3 пар спільних пікетів ( $14_{\text{л}} - 14_{\text{п}}$ ,  $15_{\text{л}} - 15_{\text{п}}$ ,  $16_{\text{л}} - 16_{\text{п}}$ ,  $30_{\text{л}} - 30_{\text{п}}$ ,  $31_{\text{л}} - 31_{\text{п}}$ ,  $32_{\text{л}} - 32_{\text{п}}$ ) із сусідніх станцій (рисунок).

Перед визначенням параметрів колії, координати з другої станції були перераховані у систему координат першої станції через функцію ПЗ «Digitals» «перерахунок в іншу систему координат». При цьому для вихідної та нової систем було вибрано опцію «плоска». Ця функція дозволяє перерахувати координати із однієї прямокутної системи  $XU$  в іншу  $X_1U_1$ , врахувавши при цьому можливі зміщення початку системи вздовж обох осей та розворот обох осей. Така процедура дозволяє відмовитись від операції «вільна станція» в полі, що скорочує тривалість спостережень.

За формулами (2), (4), (6) обчислені очікувані значення середніх квадратичних похибок для тахеометра Leica TCR 405 ultra для обох режимів «на відбивач» та «без відбивача». Ці формули не враховують інших джерел похибок, крім приладової. Оскільки всі параметри колії знаходяться через різниці відповідних просторових координат, а похибки інших джерел матимуть практично однакові значення для всіх пікетів (практично один час спостережень, малі віддалі, один виконавець), то впливом цих інших джерел ми знехтували. Вихідні дані для розрахунку:  $m_{\beta} = m_{\gamma} = 5''$ ,  $m_S = 2 + 2 \cdot S \cdot 10^{-6}$  мм – для режиму «на відбивач»,  $m_S = 3 + 2 \cdot S \cdot 10^{-6}$  мм для режиму «без відбивача», найменша та найбільша віддалі від тахеометра до пікета відповідно – 3,4 та 7,9 м для безвідбивних вимірювань та 3,4 і 23,1 м –

на відбивач. Результати всіх розрахунків приведені в таблиці. За очікувані середні квадратичні похибки прийнято найбільше значення з обчислених.

Результати показують хорошу узгодженість розрахованих значень середніх квадратичних похибок визначення параметрів із їх практичними значеннями, а також те, що всі параметри визначені із необхідною точністю. Як бачимо всі реальні середні квадратичні похибки не перевищують допустимих значень, за виключенням СКП визначення ширини колії у випадку вимірювання на відбивач, коли застосовувати допустиме значення, вираховане за формулою (7). Також перевищує граничне значення очікувана похибка в режимі «без відбивача», але реальна виявилася меншою.

Таблиця

Результати експериментальних досліджень визначення параметрів колії баштового крана БКСМ-14МП2 електронним тахеометром Leica TCR 405 ultra

Параметр	P6	P1	$\Delta f$	P3
Допустиме значення параметра з [3], мм	40	60	20	10
Граничне значення $m_{GP} = 0,2\Delta$ з [1], мм	8	12	4	2
Допустиме середнє квадратичне відхилення геодезичних робіт $\delta_G$ за формулою (7), мм	6,3	9,2	3,2	1,6
При вимірюванні на відбивач				
Розрахована (очікувана) СКП, мм	1,33	1,33	1,77	2,05
Реальна СКП, мм	1,22	1,35	2,06	2,18
Кількість вимірів	100	50	90	52
Систематична похибка, мм	-0,02	0,71	-0,74	0,03
При вимірюванні без відбивача				
Розрахована (очікувана) СКП, мм	2,00	2,00	2,61	3,02
Реальна СКП, мм	2,08	2,72	1,59	1,30
Кількість вимірів	100	50	90	52
Систематична похибка, мм	0,18	0,95	-0,47	-0,02

Пояснити ситуацію, коли точність визначення ширини прогону виявилася кращою при вимірюваннях без відбивача, ми спробували тим фактором, що коли наносилися пікети для безвідбивної технології, то ці місця були очищені від іржі. А при спостереженнях на відбивач пристрій з відбивачем притуляли з іншої сторони, яка не була очищена від іржі та пилюки. Для надійності визначення ширини прогону колії баштового крана рекомендуємо тахеометр, у якому точність вимірювання віддалі вища, ніж у Leica TCR 405 ultra, особливо в режимі вимірювання без відбивача, адже точність визначення параметра P3 в основному залежить від точності віддалемірного блоку тахеометра.

### **Висновки.**

1. Результати теоретичних розробок та експериментальних досліджень свідчать про те, що безвідбивні технології можна з успіхом використовувати для визначення геометричних параметрів підкранових колій. При цьому фактично відпадає необхідність в послугах реєчника.

2. Визначальним при виборі електронного тахеометра є допуск РЗ – звуження або розширення рейкової колії, значення якого є найменшим. На основі нього необхідно вираховувати максимальні віддалі, з яких можна вести спостереження.

3. Коли виникає необхідність вимірювання із кількох станцій, то пропонується спостерігати спільні точки із сусідніх станцій, а потім перерахувати координати в одну систему за допомогою спеціальних функцій таких, як «перерахунок в іншу систему координат» в ПЗ «Digitals». Зменшується обсяг польових робіт. В якості координат сусідніх станцій можна використати наближені їх значення.

1. Використання електронних тахеометрів при геодезичному контролі підкранових колій / К. О. Бурак, М. Я. Гринішак, В. П. Михайлишин, О. Л. Шпаківський // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 3. – С. 5–7.

2. Бурак К. О. З досвіду геодезичного контролю геометричних параметрів підкранових колій на Рівненській АЕС / К. О. Бурак, О. Л. Шпаківський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – Вип. 76. – С. 40–46.

3. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Державний нормативний акт по охороні праці: ДНАОП № 0,00-1.02.02 [Затверджено ДКУ з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 р., № 132]. – 86 с. – (Нормативні директивні правові документи). 4. Левчук Г. П. Прикладная геодезия / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – Москва : Недра, 1981. – 285 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Янчук Р. М. (НУВГП)

---

**Bachyshyn B. D., Candidate of Engineering, Associate Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)  
E-mail: bachyshyn@ukr.net

### **DETERMINATION OF PARAMETERS OF CRANE TRACKS BY REFLECTORLESS ELECTRONIC TOTAL STATION**

**Modern electronic total stations significantly changed the methodology of the geodetic control of crane tracks. In the article, the methods for such monitoring using a reflectorless total station. The**

**formulas for calculating the expected errors of the geometric parameters of crane tracks. Explains the procedures and features of the field and lab work to the real object – pakrovimo the way a tower crane BKSM-14МП2. The statistics testing for the two measurement modes of the Leica TCR 405 ultra to the reflector and without reflector. The economic efficiency of the use of reflectorless total stations for surveying in the control of crane tracks.**

**Recommendations for the application of this techniques, which allow to reduce the amount and duration of field work. Defined dominant parameter of the crane runway on which you need to select the total station and to determine maximum distances in the measurements.**

**Keywords:** geodetic control, geometric parameters of crane tracks, reflectorless electronic total station.

---

**Бачишин Б. Д., к.т.н., доцент** (Национальний університет водного господарства і природопользования, г. Ровно)  
E-mail: bachyshyn@ukr.net

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ С ПОМОЩЬЮ БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА**

**Рассмотрена методика геодезического контроля подкрановых путей с помощью безотражательного тахеометра. Приведены статистические данные апробации этой методики на реальном объекте для двух режимов измерений тахеометром: на отражатель и без отражателя. Показано экономическую эффективность применения безотражательных тахеометров для геодезических работ при контроле подкрановых путей. Сформулированы рекомендации для применения этой методики.**

**Ключевые слова:** геодезический контроль, параметры подкрановых путей, безотражательный тахеометр.

---